

足立 幸志

東北大学 大学院工学研究科  
教授

超低摩擦機械システムのためのトライボ化学反応を制御したナノ界面創成

## §1. 研究実施体制

### (1) 足立グループ

- ① 研究代表者: 足立 幸志 (東北大学大学院工学研究科、教授)
- ② 研究項目
  - ・低摩擦を発現するナノ界面構造の分析・解析手法の開発
  - ・ナノ界面の特性分布評価システムの開発
  - ・種々因子の摩擦係数とトライボ化学反応に及ぼす影響の実験的解明

### (2) 久保グループ

- ① 主たる共同研究者: 久保 百司 (東北大学大学院工学研究科、教授)
- ② 研究項目
  - ・トライボ化学反応ダイナミクスの理論的解明

### (3) 杉村グループ

- ① 主たる共同研究者: 杉村 丈一 (九州大学大学院工学研究院、教授)
- ② 研究項目
  - ・低摩擦を発現するナノ界面構造の分析・解析手法の開発
  - ・高純度ガス雰囲気における微量不純物の摩擦に及ぼす影響の実験的探求

### (4) 上坂グループ

- ① 主たる共同研究者: 上坂 裕之 (名古屋大学大学院工学研究科、准教授)
- ② 研究項目
  - ・超高速 DLC 成膜実験

・超高速 DLC 成膜プラズマの計測

## §2. 研究実施の概要

平成 25 年度は、今後の実験的解明を遂行するために不可欠となる「その場の雰囲気や摩擦条件下において低摩擦を発現するナノ界面構造の分析・解析手法の開発」と高度に制御された薄膜形成のベースとなる「低摩擦を発現し得る DLC 膜の超高速成膜技術の開発」に注力した。さらに、それらを用いた実験により、炭素系硬質薄膜(主にダイヤモンドライクカーボン膜(DLC)と窒化炭素膜(CNx))の超低摩擦発現システム構築に向けた現象解明とトライボ化学反応ダイナミクスの理論的解明を推進した。主たる研究実施概要は以下のとおりである。

### (1) 低摩擦を発現するナノ界面構造およびトライボ化学反応の解明

雰囲気制御が可能な環境下における摩擦装置群に対し、実験において形成されたナノ界面を大気に曝露することなく二次イオン質量分析計(SIMS)、光電子分光分析装置(XPS)、オージェ電子分光分析装置(AES)に移動し分析することが可能なコモンゲートシステム、トランスファーベッセルシステムを整え、低摩擦を発現する状態にあるナノ界面の組成や構造の分析・解析を開始した。特に、ガス中の微量不純物量を制御することが可能な摩擦試験機内での DLC と PTFE 複合材の摩擦実験により、現在導入中の手法を用いた解析が、低摩擦を発現するナノ界面を理解するために有効であることを明らかにした。

マイクロ波励起・高密度・基材近接プラズマを用いた CVD 技術により、高速かつ高硬度な Si 含有水素化 DLC 膜の成膜が可能であることを示すと同時に、窒素を含有させることにより 0.03 程度の低摩擦が実現し得ることを実験的に明らかにし、今後の高度に制御された薄膜形成のベースとなる「低摩擦を発現し得る DLC 膜の超高速成膜技術」の方向性を明らかにした。

### (2) トライボ化学反応によるナノ界面の形成・創製機構の解明

炭素系硬質膜に対する終端基及びドーピングが、トライボ化学反応ダイナミクスに与える影響の理論解析を行い、1GPa の圧力条件下では、フッ素終端 DLC 及び水素終端 DLC はともに 0.1 以下の低摩擦係数を与えることを明らかにした。また、7GPa の高圧力下では摩擦界面で C-C 結合を形成するトライボ化学反応が発生するため水素終端 DLC では、低摩擦を維持できないことが示される一方、水素終端 CNx に窒素をドーブすることにより、低摩擦が実現し得ることが示され、低摩擦を実現するナノ界面設計に対し理論解析の有効性を明らかにした。また、DLC 膜の成膜機構を理論的に解明するため、当初の計画にはなかった DLC 膜の成膜シミュレーションを実現する新たなプログラム開発を行った。

### (3) ナノ界面による低摩擦発現機構の解明

0.01~40%RH の広範囲な湿度環境において、なじみ過程を制御した CNx 膜同士の摩擦により、0.03 程度の無潤滑条件下では極めて低い摩擦係数が得られることを実験的に明らかにした。さらに、なじみ過程において形成される CNx 膜最表層のナノ界面の特性が大気中低摩擦システム実現の鍵であることを示すと同時に炭素系硬質膜の構造の制御によりナノ界面の制御が可能であることを明らかにした。